

# Desarrollo de un receptor digital para detección de pulsares

G. Gancio<sup>1</sup>, C. Lousto<sup>2</sup>, L. Combi<sup>1</sup>, F. García<sup>1,3</sup> & Colaboración PuMA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET-CICPBA, Argentina

<sup>2</sup> Rochester Institute of Technology, Rochester, EE.UU.

<sup>3</sup> Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen, Groningen, Países Bajos

Contacto / ggancio@iar-conicet.gov.ar

**Resumen** / En el año 2015, utilizando la Antena Dr. Carlos Varsavsky del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), se realizó la primera observación y registro del pulsar de Vela (PSR B0833-45). A partir de ese momento, comenzamos a implementar una línea de investigación orientada a la observación sistemática de pulsares, impulsando el desarrollo de un receptor digital propio, la puesta en funcionamiento de la Antena II, y conformando la Colaboración PuMA (Pulsar Monitoring in Argentina). El receptor digital desarrollado por personal técnico y científico del IAR con el aporte del Rochester Institute of Technology, permite realizar observaciones de pulsares a 1.4 GHz con anchos de banda de 56 a 120 MHz en ambas polarizaciones y obtener medidas temporales absolutas (*timing*) con precisión del orden del microsegundo a partir de una base de tiempo de GPS. En este trabajo se presentará el desarrollo del receptor digital de pulsares, su aplicación a ambos radiotelescopios del IAR y se mostrarán algunos de los primeros resultados obtenidos a partir del monitoreo del pulsar de Vela y el pulsar de milisegundo J0437-4715.

**Abstract** / In 2015, using the Antenna Dr. Carlos Varsavsky of the Argentine Institute of Radio Astronomy (IAR), the first Pulsar observation of the Vela Pulsar (PSR B0833-45) was made. From that moment on, we implemented a line of research oriented to the systematic observation of pulsars by promoting the development of a digital receiver, the commissioning of the Antenna II, and started the PuMA Collaboration (Pulsar Monitoring in Argentina). The digital receiver developed by technical and scientific staff from the IAR with the support of the Rochester Institute of Technology, allows us to perform observations of pulsars at 1.4 GHz with bandwidths of 56 to 120 MHz in both polarizations, and to obtain absolute timing measurements, with precision of the order of the microsecond from a GPS time base. In this work, we present the development of the pulsar digital receiver, its application to both radio telescopes of the IAR, and show some of the first results obtained from the monitoring of the Vela Pulsar and the millisecond pulsar J0437-4715.

**Keywords** / instrumentation: detectors — pulsars: general

## 1. Introducción

En el año 2015, utilizando la Antena Dr. Carlos Varsavsky (Antena I) del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR, ver Fig. 1), se realizó la primera observación y registro del pulsar de Vela (PSR B0833-45). Este pulsar es el más intenso del hemisferio sur, y presenta un período rotacional de aproximadamente 89 ms. A partir de ese momento, se inició una línea de investigación orientada a la observación sistemática de pulsares impulsando, a su vez, el desarrollo de un receptor digital dedicado a la observación de este tipo de objetos. Asimismo, se trabajó en la recuperación y puesta en funcionamiento de la Antena Dr. Esteban Bajaja (Antena II) que permitió duplicar el tiempo de observación disponible, y se conformó la Colaboración PuMA (Gancio et al., 2020) (del inglés *Pulsar Monitoring in Argentina*).

El receptor digital para la observación de pulsares fue desarrollado por personal técnico y científico del IAR, y realizado con el aporte del Rochester Institute of Technology (RIT). Este instrumento permite realizar observaciones de pulsares en la frecuencia de 1.4 GHz con anchos de banda de 56 a 120 MHz en ambas polarizaciones y obtener medidas temporales absolutas (*ti-*



Figura 1: Radiotelescopio de 30 metros de diámetro “Esteban Bajaja”.

*ming*) con precisión del orden del  $\mu$ s, usando una base de tiempo de GPS (pulso por segundo).

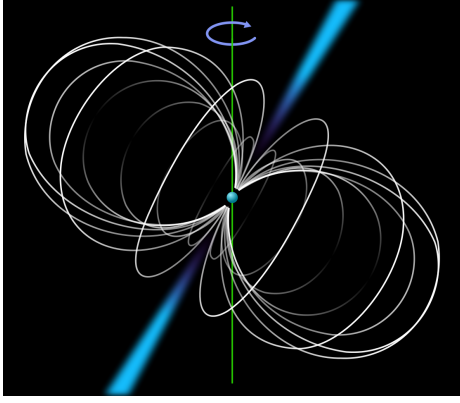


Figura 2: Esquema de un pulsar. La estrella de neutrones en el centro posee un campo magnético dipolar y emite radiación en radiofrecuencias a través de sus polos magnéticos.\*

## 2. Emisión electromagnética de un Pulsar

Un pulsar es una estrella de neutrones en rotación que posee un intenso campo magnético, el cual emite radiación electromagnética de forma continua a través de sus polos magnéticos. Si la emisión electromagnética no está alineada con el eje de rotación de la estrella, la radiación es detectada por un observador lejano a través de pulsos regulares, cada vez que el cono de emisión queda orientado en la línea de la visual (ver Fig. 2).

Estas emisiones pulsantes son particularmente intensas en el continuo de radio con un gran ancho de banda y pueden ser detectadas por radiotelescopios. Las estrellas de neutrones son objetos compactos con diámetros del orden de 20 a 30 km y rotan muy rápidamente, con frecuencias que pueden alcanzar el orden de los kHz, es decir, períodos de incluso algunos ms.

Dado que los pulsos de emisión electromagnética emitidos por estos objetos deben atravesar el medio interestelar antes de ser observados por los radiotelescopios terrestres, estos pulsos experimentan una fuerte dispersión. Como consecuencia, los pulsos de radio a frecuencias más altas alcanzan al detector antes que los pulsos a frecuencias más bajas. Por lo tanto, el análisis de la dispersión de los pulsos emitidos por estos objetos permite estudiar también al medio interestelar, mediante el análisis de los tiempos de arribo a diferentes frecuencias (ver Fig. 3).

## 3. Diseño del receptor digital para pulsares

El receptor digital está basado en la tecnología de Radio Definida por Software, o SDR por sus siglas en inglés (*Software Defined Radio*). Esta tecnología permite la digitalización de las señales del radiotelescopio y su procesamiento mediante un software desarrollado para tal fin. De esta manera, en función de las características del software elaborado, el radiotelescopio puede observar en diferentes modos, como ser el continuo de radio, perfiles de emisión de línea, o emisión de pulsares.

\*<https://es.wikipedia.org/wiki/Pulsar>

\*\*<https://www.cv.nrao.edu/course/ast534/Pulsars.html>

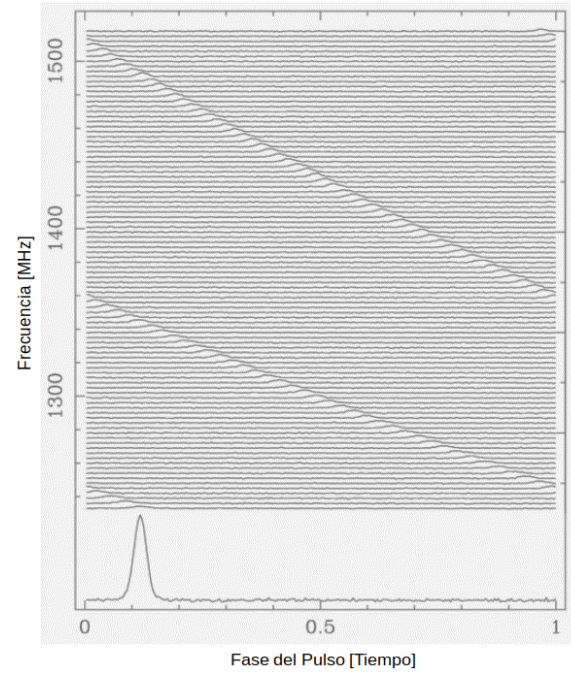


Figura 3: Esquema de la dispersión de un Pulsar. Frecuencia MHz vs. Fase de pulsos.\*\*

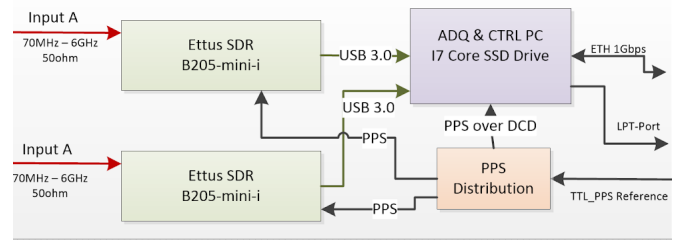


Figura 4: Esquema del receptor digital, indicando las placas de digitalización SDR, la computadora de adquisición y proceso de datos y el módulo de distribución de tiempo para la sincronización temporal de los datos.

Las características principales del instrumento son:

- Dos placas Ettus B205-mini-i.
- Ancho de banda instantáneo por placa de 56 MHz.
- Dos placas por CPU, 110 MHz o 56 + 56 MHz.
- Un espectro de 128 canales cada 20  $\mu$ s (máximo).
- Un espectro de 32 canales cada 40  $\mu$ s (típico).
- Sincronización mediante un GPS PPS a ser reemplazado por un máser de Hidrógeno vinculado con el observatorio AGGO\*\*\*.

En la Fig. 4 presentamos el diagrama constructivo del receptor digital.

## 4. Software del receptor digital para pulsares

El receptor digital es operado a través de un software desarrollado en lenguaje "C" íntegramente por el IAR. El programa procesa las señales de radiofrecuencia que son recibidas como muestras temporales de dos placas

\*\*\*<http://www.aggo-conicet.gob.ar/>

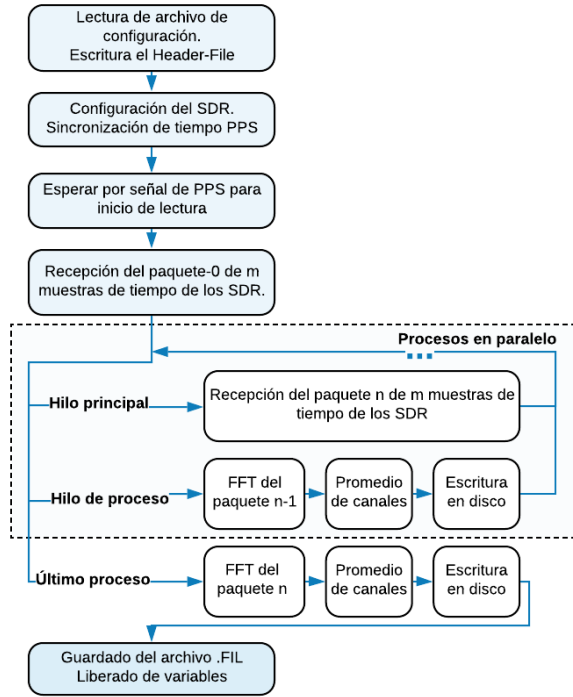


Figura 5: Diagrama de flujo del programa desarrollado.

SDR, a una velocidad de 56 millones de muestras por segundo (MSPS). Las muestras son procesadas íntegramente sin margen de pérdidas, ya que en tal caso se perdería el sincronismo haciendo imposible la recuperación del perfil del pulso recibido. Al mismo tiempo, las muestras recibidas son transformadas al espacio de frecuencias usando la transformada de Fourier rápida (FFT). En ese dominio, se realizan promedios por canales y finalmente se escriben los resultados en disco.

Para lograr este objetivo, se elaboró un esquema donde el software distribuye las tareas entre diferentes núcleos del procesador. Un primer proceso ejecutado en uno de los núcleos toma una cantidad de muestras definida y las vuelve a un segundo proceso que se ejecuta en otro núcleo y se encarga de procesar las muestras, calcular la FFT, y realizar los promedios. La ejecución en paralelo de estos procesos permite que finalmente los datos sean volcados a tiempo en el formato estándar Filterbank, Lorimer (2011), sin perder muestras durante las casi cuatro horas de observación (ver Fig. 5).

Otro aspecto fundamental en el receptor es la sincronización de la primera muestra con una referencia estable como el “Pulso por Segundo” del GPS, el cual vincula la hora exacta con la primera muestra recibida, asegurando la precisión temporal requerida, inferior al  $\mu s$ , para obtener el timing preciso en pulsares de ms.

## 5. Conclusiones

En el presente artículo se demostró que el sistema de adquisición instalado y utilizado en ambos radiotelescopios

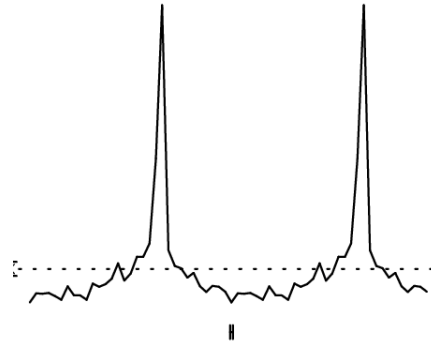


Figura 6: Observación del perfil correspondiente al pulsar J0437-4715.

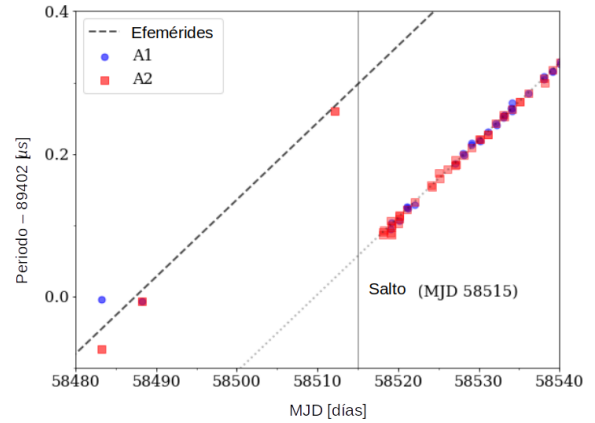


Figura 7: Salto del periodo del pulsar de Vela.

puede brindar excelentes resultados, a modo de ejemplo se puede ver la Fig. 6 que muestra el perfil observado del pulsar de milisegundo J0437-4715, con un periodo de rotación de aproximadamente 5.75 ms. Este pulsar constituye una de las principales fuentes monitoreadas por el grupo PuMA dada su fuerte estabilidad temporal. Mientras que la Fig. 7 muestra la evolución del periodo del pulsar de Vela, como resultado de una serie de observaciones realizadas durante varios meses entorno al salto de periodo o *glitch* experimentado por el pulsar a principios de 2019 Lopez Armengol et al. (2019). El procesamiento de los archivos se realizó con el software PRESTO Ransom (2001), desarrollado para tal fin y de libre distribución.

## Referencias

- Gancio G., et al., 2020, A&A, 633, A84
- Lopez Armengol F.G., et al., 2019, The Astronomer’s Telegram, 12482, 1
- Lorimer D., 2011, Astrophysics Source Code Library, 07.016–
- Ransom S.M., 2001, *New search techniques for binary pulsars*, Ph.D. thesis, Harvard University